

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

## **Vlastnosti svarových spojů provedených průvarovou pistolí**

## **Properties of Weld Joints Carried Out by Deep Penetrating Welding Gun**

Bakalářská práce

Student:

Tóth Miroslav

Vedoucí bakalářské práce:

ing. Sondel Martin Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Tóth**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Vlastnosti svarových spojů provedených průvarovou pistolí**  
**Properties of Weld Joints Carried Out by Deep Penetrating Welding Gun**

Zásady pro vypracování:

1. Popište princip metody svařování.
2. Proveďte rozbor materiálů svažitelných touto technologií.
3. Navrhněte optimální parametry svařování austenitické oceli.
4. Navrhněte metodiku zkoušení svarových spojů.
5. Proveďte ověření vlastností svarového spoje.

Seznam doporučené odborné literatury:

Kolektiv autorů: Materiály a jejich svažitelnost, Ostrava, ZEROSS, 2009  
KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK Jiří. *Materiály a jejich svažitelnost*. Vyd. 1. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o., VŠB-Technická Univerzita, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.  
KOUKAL, Jaroslav; ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2005. 136 s. ISBN 80-248-0870-6.  
ČSN EN ISO 15614-1,

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Sondel, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

## **Anotace bakalářské práce**

TÓTH, M. *Vlastnosti svarového spoje provedených průvarovou pistolí*. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, 00 s. Bakalářská práce, vedoucí Sondel, M.

Předkládaná práce se zabývá problematikou svařitelnosti austenitické korozivzdorné oceli průvarovou bodovou technologií. V úvodní kapitole je popsán princip průvarové technologie.

Cílem práce je posouzení svařitelnosti tlumících kroužků železničních kol touto technologií. Na základě zkoušení potřebných svařovacích parametrů jsou provedeny zkušební svary. Tyto svary jsou zkoušeny. Na těchto svarových spojích je provedeno studium síly nutné k přetržení vzorků a zhodnocení dosažených výsledků.

## **Annotation of Thesis**

TÓTH, M. *Properties of Weld Joints Carried Out by Deep Penetrating Welding Gun*. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2012, 00 p. Thesis, head Sondel, M.

This thesis deals with problems of weldability of austenitic stainless steel carried out deep penetrating welding gun. In the introductory chapter describes the principle of this technology.

The aim of this thesis is to assess weldability damping rings of railway wheels according to the technology. Based on the testing required welding parameters are carried out test welds. These welds are tested. On the welded joints is carried out studies force required to break samples and evaluation of results achieved.

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.5.2012


A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Tobias', written over a horizontal dashed line.

podpis studenta

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB.TUO v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18.5.2012



Miroslav Tóth  
Štramberk 730  
742 66 Nový Jičín

## Obsah

Seznam použitého značení.....	8
1. Úvod.....	9
2. Průvarové bodové svařování.....	10
2.1. Princip průvarového svařování obalenou elektrodou.....	10
2.2. Elektrody.....	11
2.2.1. Polarita elektrod.....	12
2.3. Intenzita svařovacího proudu.....	12
2.4. Délka posuvu elektrody.....	13
2.5. Zdroje svařovacího proudu.....	13
2.5.1. Referenční napětí.....	16
2.6. Zařízení pro průvarové svařování.....	16
2.7. Zásady pro svařování průvarovou bodovací technologií.....	18
2.8. Příklady průvarových spojů.....	18
2.9. Navrhování a výpočet průvarových spojů.....	19
2.9.1. Výhody a nevýhody průvarového bodového svařování.....	19
3. Svařitelnost.....	20
3.1. Svařitelnost metalurgická.....	21
3.2. Svařitelnost technologická.....	21
3.3. Svařitelnost konstrukční.....	22
4. Vliv chemického složení na svařitelnost.....	22
5. Procesy při svařování.....	25
5.1. Tepelně ovlivněná oblast.....	26
5.2. Transformační diagram.....	27
6. Svařitelnost austenitické oceli (Cr-Ni).....	28
6.1. Teplé krystalizační trhliny.....	28

6.2. Mezikrystalová koroze.....	29
6.3. Vznik fáze $\sigma$ .....	30
7. Výroba zkušebních svarových spojů.....	31
7.1. Svaření vzorků původní metodou – 135 (MAG).....	32
7.2. Svaření vzorků metodou průvarového bodového svařování – 111....	33
7.2.1. Seřízení svařovacího zdroje Aristo <sup>TM</sup> Mig C3000i, U6.....	33
7.2.2. Výběr elektrod.....	33
7.2.3. Ověřování vhodných parametrů pro elektrodu.....	34
7.2.4. Průběh zhotovení svarových spojů.....	34
8. Hodnocení vzorků.....	39
8.1. Průběh trhacích zkoušek.....	39
8.2. Grafy deformací a napětí.....	41
8.3. Zhodnocení dosažených výsledků.....	45
9. Závěr.....	45
Seznam použité literatury.....	47
Přílohy.....	48

## Seznam použitého značení:

$A_{c1}$	dolní kritická teplota překrystalizace $\alpha + Fe_3C \rightarrow \gamma$	
$A_{c3}$	horní kritická teplota překrystalizace $\alpha \rightarrow \gamma$	
ARA	anizotermický rozpad austenitu	
$\alpha$	tuhý roztok uhlíku v železe alfa – ferit	
Bs	začátek baimitické přeměny	
Bf	konec baimitické přeměny	
C	uhlík	
Ce	uhlíkový ekvivalent	[%]
$\gamma$	tuhý roztok uhlíku v železe gama – austenit	
HZ	hranice ztavení	
IIW	Mezinárodní svářečský institut (International Institute of Welding)	
IRA	Izotermický rozpad austenitu	
111	ruční obloukové svařování obalenou elektrodou	
135	obloukové svařování tavící se elektrodou, metoda MAG	
PA	poloha svařování vodorovná shora	
Re	mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti	[MPa]
TOO	tepelně ovlivněná oblast	
SK	svarový kov	
ZM	základní materiál	



## 1. Úvod

První pokusy o zavedení průvarového bodového svařování obalenou elektrodou jsou zaznamenány koncem 50. let ve Výzkumném ústavu zváračském Bratislava. Pak následovaly pokusy ve Francii, NSR a Lichtenštejnsku. Ty nedosahovaly uspokojivé kvality a tím nebylo možno stanovit výpočtovou pevnost svarů.

Zvrat v použití průvarového bodového svařování obalenou elektrodou přinesl vynález AO 229714 Způsob průvarového bodového svařování a zařízení pro jeho provádění, jehož autoři jsou ing. Miroslav ŠTÍHEL a ing. Vincenc FOJTÍK. Způsobem podle vynálezu se dosahuje zaručené opakovatelnosti kvality svaru a tím lze průvarové svařování používat na konstrukce s požadovaným stanovením výpočtové pevnosti spojů.

Průvarové bodové svařování obalenou elektrodou je technologie, která umožňuje bodové spojení tenkých ocelových výrobků. V této Bakalářské práci je technologie průvarového bodového svařování použita na svařování ocelových tlumících kroužku průměru 10 a 14 mm.

V úvodní teoretické části je popsán princip metody průvarového svařování. V dalších kapitolách je popsána svařitelnost, vliv chemického složení, svařitelnost austenitické korozivzdorné (Cr-Ni) oceli.

Cílem práce je posouzení možnosti svařování drátu průvarovou bodovou technologií. V praktické části je posuzována síla nutná na přetržení vzorků svařených technologií 111- průvarové bodové svařování a vzorků svařených technologií 135 - tavící se elektrodou v ochranném plynu, metoda MAG.

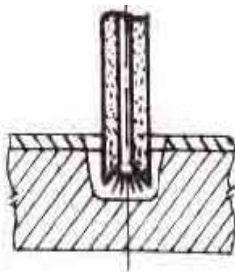
## 2. Průvarové bodového svařování

### 2.1 Princip průvarového bodového svařování obalenou elektrodou

Průvarové bodové svařování obalenou elektrodou je technologie, která umožňuje bodové spojení tenkých ocelových výrobků vzájemně nebo k libovolně tlustému ocelovému dílci. Hlavní výhodou je dosažení svarového spoje z jedné strany v jednom cyklu [1].

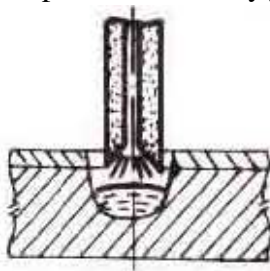
Průvarem se rozumí propálení otvoru elektrickým obloukem bez předvrtání a následným jeho zatavením v jedné operaci. Svařovat lze i více plechů najednou.

Průvarové bodové svařování probíhá ve třech fázích:



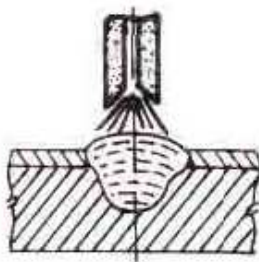
**Obr. 2.1.1** První fáze [1].

a) elektroda je mechanicky přitlačována ke svařovanému materiálu a po zapálení svařovacího oblouku při současném mechanickém posunu elektrody je propálen materiál [1].



**Obr. 2.1.2** Druhá fáze [1].

b) částečným posuvem elektrody a jejím odtavováním je proveden spoj [1].



**Obr. 2.1.3** Třetí fáze [1]

c) vytváří se povrchová část svaru o po oddálení svařovacího oblouku na předem stanovenou jeho délku se proces svařování ukončí [1].

Ukončení svařovacího procesu nastane srovnáváním narůstajícího napětí na svařovacím oblouku s referenčním napětím pomocí komparátoru. Změnou referenčního (srovnávacího) napětí se nastavuje délka upálení elektrody [1].

## 2.2 Elektrody

Pro průvanové bodové svařování se používají speciální elektrody, které vyrábí firma ESAB VAMBERK s.r.o. Obal elektrody je složen z rutilu, kaolínu, vápence, feromanganu, křemene, dolomitu a ocelového prášku. Přesné složení obalu výrobce neudává. Směrné chemické složení svarového kovu v % [1].

C	Mn	Si
0,12	0,60	0,35

**V současnosti dostupné elektrody vhodné pro průvarové bodové svařování [1].**

1. **E-R 921 Ø2,5 (Ø 2mm)** – původní elektrody pro průvarové svařování.
2. **OK Femax 33.65 Ø2,5** - pro svařování oceli třídy 10 a 11 (konstrukční oceli).
3. **OK 68,81 Ø2,5 (Ø3,2)** – pro svařování austenitických, vysokopevnostních nízkolegovaných i nelegovaných ocelí i pro svařování austenitických ocelí s ocelmi nelegovanými.

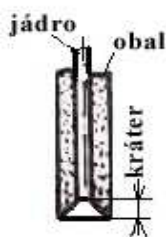
**Požadavky obalených elektrod při použití průvarové bodovací technologie [1].**

**Kontaktní** – zapalují elektrický oblouk přes zapalovací kráter, při přitlačené elektrodě na spojovaný materiál pružinou.

**Hlubokozávarová** – propálí spojovaný materiál do potřebné hloubky, při nastavitelných parametrech.

**Výtěžková** – dostatečně zaplní vypálený otvor kovem, bez dutin a zatavené strusky.

**Obal elektrody** – musí být dostatečně pevný i při zvýšené teplotě elektrody a nesmí docházet k ulamování předem vytvořeného kráteru na konci elektrody, pod tlakem pružiny.



**Obr. 2.2.1** Schéma elektrody

### 2.2.1 Polarita elektrod

Pro průvarové svařování elektrodami je výhodnější polarita – elektroda na kladný pól. U velmi tlustě balených elektrod zapojených na kladný pól se vlivem vyšší teploty anodové strany více odtavuje jádro elektrody a tím se vytváří větší kráter, jehož velikost se ustálí v závislosti na proudové zátěži zdroje. Se zvětšujícím se kráterem se zvyšuje i napětí na oblouku, dochází k jeho prodloužení a tím se také zlepší ionizace prostředí. Obrácená polarita je také výhodnější pro přenos kapek při svařování v polohách [1].

### 2.3 Intenzita svařovacího proudu

Pro svařování elektrodami E-R 921 platí orientační vzorec pro nastavení intenzity svařovacího proudu [1]:

$$I_2 = 65 \times d \quad (1)$$

kde  $I_2$  je svařovací proud

$d$  je průměr jádra elektrody

65 je doporučená konstanta



$$I_2 \leq 65 \times d$$

**Obr. 2.3.1** Při zmenšování intenzity svařovacího proudu se celkově zmenšuje průvar.



$$I_2 = 65 \times d$$

**Obr. 2.3.2** Optimální velikost průvaru.



$$I_2 > 65 \times d$$

**Obr. 2.3.3** Zvětšením intenzity svařovacího proudu se snižuje hloubka průvaru.

## 2.4 Délka posuvu elektrody

Mechanický posuv elektrody do svařovacího procesu je prováděn pružinou, kterou se před každým průvarem předejde na požadovanou délku.

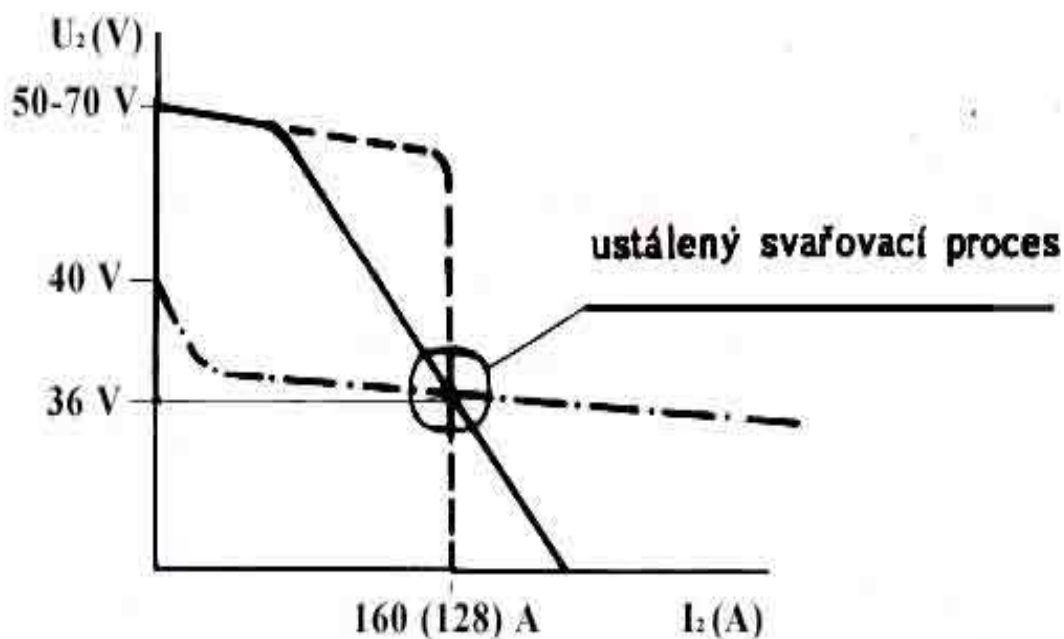
Délka posuvu elektrody ovlivňuje velikost průvaru, ale je závislá na schopnosti elektrody dostatečně zaplnit vypálený prostor (výtěžkový charakter). Při nadměrném posuvu elektrody dochází k vypálení velkého prostoru, který není dostatečně zatavený a uvnitř průvaru zůstávají dutiny[1]. U elektrod E-R 921 je ověřen nejdelší posuv [1]:

Ø 2 mm – 10 mm, s dosažením přivaření plechu tloušťky 2 mm a kořenu průvaru po utržení Ø 4 mm.

Ø 2,5 mm – 15 mm, s dosažením přivaření plechu tloušťky 3 mm a kořenu průvaru po utržení Ø 6 mm.

## 2.5 Zdroje svařovacího proudu

Vhodnost zdroje svařovacího proudu ovlivňuje jeho statická charakteristika, čímž se rozumí závislost svařovacího napětí  $U_2$  (V) na intenzitě svařovacího proudu  $I_2$  (A). V ustáleném svařovacím procesu je u elektrod E-R 921 svařovací napětí 36 V a svařovací proud u elektrod Ø 2,5 je 160 A, u Ø 2 je 128 A [1].



**Obr. 2.5.1** Obecné znázornění statických charakteristik [1].

- strmá charakteristika
- polostrmá charakteristika
- · - · - · - · - plochá charakteristika

Průběh svařovacího procesu závisí na statické charakteristice zdroje. Při chodu naprázdno má zdroj maximální napětí  $U_2$  (V) a intenzita svařovacího proudu  $I_2$  (A) je nula. Při zapálení svařovacího oblouku dojde ke zkratu, kde proud je maximální a napětí je rovno nule. Ve velmi krátkém časovém intervalu dojde k relativnímu ustálení svařovacího procesu. Kvalita ustálení svařovacího procesu nebo jeho rozptyl (dynamická charakteristika), má rovněž vliv na kvalitu svaru. Statická charakteristika zdroje a její změna odporem vedení svařovacího proudu, má velký vliv na kvalitu průvarového svařování[1].

#### **Znázornění vlivu na tvar:**



**Obr. 2.5.1** Strmá charakteristika [1].

**Strmá charakteristika** má nižší svařovací výkon při propalování plechu a při prodlužování oblouku výkon roste. Vzniká plochý průvar s velkou hlavou [1].



**Obr. 2.5.2** Polostrmá charakteristika [1].

**Polostrmá charakteristika** udržuje výkon svařovacího procesu podle typu zdroje strmosti charakteristiky [1].



**Obr. 2.5.3** Plochá charakteristika [1].

**Plochá charakteristika** intenzivněji propaluje plech a s prodlužováním svařovacího oblouku se snižuje výkon. Průvar má menší roztavení jeho horní části [1].

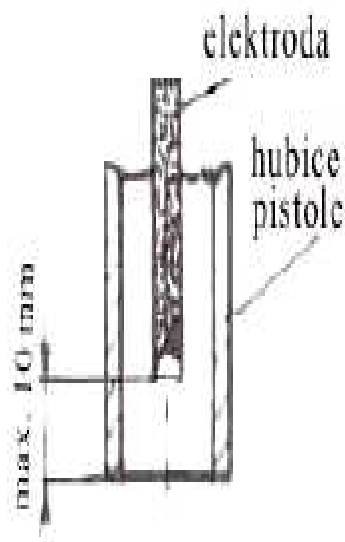
Transformátory se střídavým proudem jsou pro průvanové bodové svařování výhodné, ale musí být doplněny, který obsahuje komparátor, zdroj referenčního proudu a stykač zapojeny do obvodu primárního vinutí transformátoru. Adaptér lze použít také pro usměrňovače, jejichž rozběh není časově omežován zpožděním rozběhu ventilátoru nebo jiných komponentů.

Řízené usměrňovače nebo střídače lze použít jen v případě, že elektronické řízení dálkového ovládání je uzpůsobeno pro spojení s komparátorem průvanového zařízení.

Svařovací zdroje pro metodu MIG a MAG jsou použitelné pro průvarové bodové svařování s obalenou elektrodou bez doplňujících prostředků. Podmínkou je pouze nastavitelné svařovací napětí naprázdno nejméně 36 V a dosažitelný svařovací proud 160 A. Pro průvarové bodové svařování je nejvhodnější svařovací zdroj s **plochou charakteristikou** a možností regulace jeho napětí naprázdno  $U_2$  (V), které je nejméně 40 V a svařovací proud nejméně 200 A. Tomuto požadavku vyhovují svařovací zdroje pro metodu MIG-MAG, které mají také spínání svařovacího procesu. K jeho ukončení dojde automaticky při zvětšení napětí na oblouku, nad nastavenou hodnotu napětí naprázdno u svařovacího zdroje [1].

Svařovací zdroje s **charakteristikou strmou a polostrmou** musí být doplněny zařízením pro zapnutí svařovacího proudu a komparátorem, který zajistí jeho vypnutí při nastavené hodnotě referenčního napětí [1].

### 2.5.1 Referenční napětí



**Obr. 2.5.1.1** Schéma nastavení [1].

Referenční napětí je nastavitelné srovnávací napětí s napětím na svařovacím oblouku, které roste s uhoříváním elektrody. Po dosažení jeho srovnatelných hodnot, dojde k vypnutí svařovacího procesu komparátorem. Velikost referenčního napětí se uvádí pouze v obecných hodnotách určených výrobcem průvarového zařízení, kde zpravidla se stanoví také max. délka uhoření elektrody v ochranné hubici bodovací pistole. Délka uhoření větší než 10 mm, může způsobit přeskočení oblouku na hubici a zničení pistole [1].

## 2.6. Zařízení pro průvarové svařování

### Průvarová bodovací pistole STIME

Je přídatné zařízení ke zdroji svařovacího proudu, k použití průvarové bodovací technologie s **garantovanou opakovatelností** nastaveného provedení svaru. Do pistole se upevní elektroda a po nastavení všech potřebných parametrů se provádí svařování bez potřeby ochranných pomůcek proti ozáření elektrickým obloukem. Na průvarové pistoli se nastavuje pouze délka posuvu elektrody [1].





**Obr. 2.6.1** Průvarová bodovací pistole STIME

1. Měděná hubice s keramickou vložkou
2. Pojistka z pružinového drátu
3. Chladič
4. Vodící trubka
5. Šroub kleštiny k upevnění elektrody
6. Matice nastavení posuvu elektrody
7. Páčka spouště
8. Šroub regulace mikrospínač spouště
9. Ovládací šňůra pistole
10. Svařovací kabel
11. Rukojeť
12. Držadlo



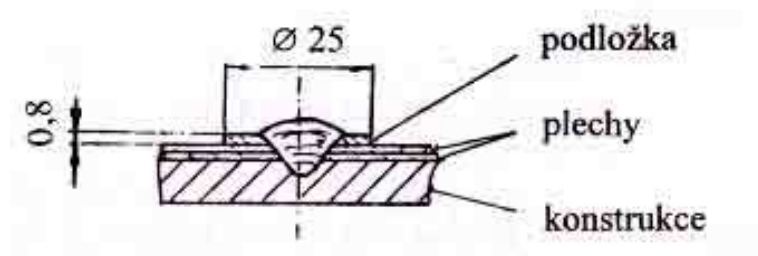
**Obr. 2.6.2** Koncovka k připojení  
na zdroj MIG-MAG

- Zařízení splňuje požadavky:**
- pevné upnutí elektrody (šroubem)
  - posuv elektrody s přítlakem (pružinou)
  - nastavitelnou délku posuvu elektrody
  - vyměnitelnou hubici s keramickou vložkou, která zakryje svařovací oblouk
  - spínač pro zapnutí svařovacího procesu

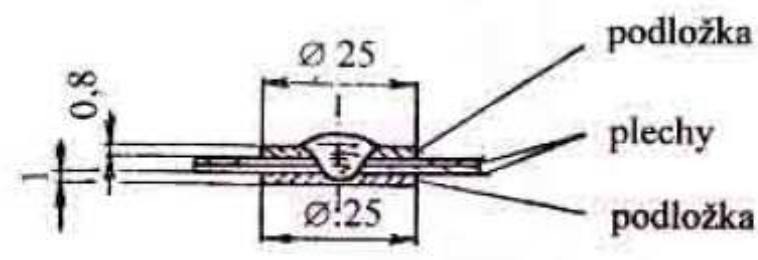
## 2.7 Zásady pro svařování průvarovou bodovací technologií [1].

1. Svařovat se může jen ze strany tenkého plechu na tlustší.
2. Svařovat lze více plechů nad sebou, ale součet tloušťek přivařovaných plechů nemůže překročit max. tloušťku 3 nebo 2 mm (podle typu a průměru elektrody).
3. Spodní plech má mít tloušťku nejméně 1 mm.
4. Svařovat lze ve vodorovné poloze elektrody, při nastavení minimální délky jejího uhoření.
5. S výhodou lze svařovat plechy pozinkované.
6. Špatně provedený průvar lze opravit opakovaným průvarem do téhož místa.
7. Zajistit řádné ukostření a kontakt elektrody s horním svařovaným dílcem.
8. Je nutno zajistit vymezení mezer mezi svařovanými díly stlačením.
9. Svařovat lze díly opatřené nátěrem, ale svar se musí opakovat podruhé do téhož místa. Tím se zaručí jeho kvalita.
10. Je možno použít přídatnou podložku z černého nebo nerezového plechu a kleště pro ukostření připojit k hubici pistole.

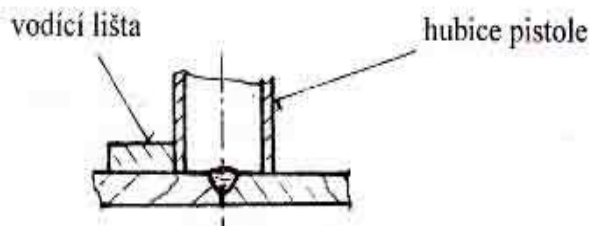
## 2.8 Příklady průvarových spojů



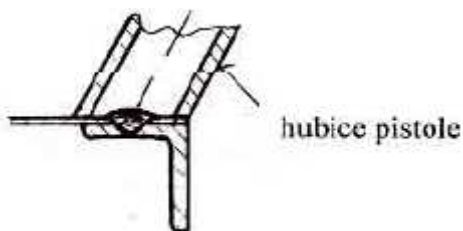
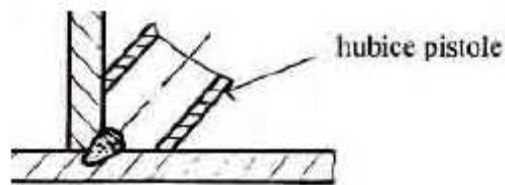
**Obr. 2.8.1** Horní podložka svaru se doporučuje u namáhaných spojů pro jejich zpevnění při bodování tenkých plechů [1].



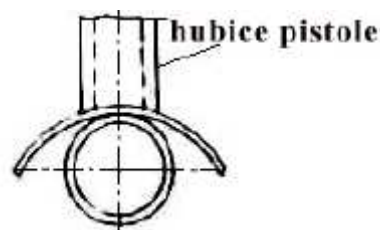
**Obr. 2.8.2** Pro zlepšení únosnosti tenkých plechů je možno použít podložku z obou stran [1].



**Obr. 2.8.4** Použití vod. lišty jako opěrky hubice. **Obr. 2.8.5** Lze provádět koutové stehy[1].



**Obr. 2.8.6** Svařování se sklonem [1].



**Obr. 2.8.7** Svařování trubek [1].

## 2.9 Navrhování a výpočet průvarových spojů

Průvarové bodové svařování s použitím elektrod E-R 921 lze používat pro spojování dílů z konstrukční oceli třídy 10 a 11 se zaručenou svařitelností. Pro průvarové spoje ocelových plechů černých i pozinkovaných, tloušťky 1 mm a více, k ocelové konstrukci z materiálu řady 37 při statickém zatížení, je zjištěna výpočtová pevnost pro namáhání ve stříhu [1].

$$R_s = 170 \text{ MPa}$$

Únosnost průvarového spoje při namáhání stříhem je:

$$N_s = S \times R_s \quad (2)$$

$$\text{kde } S = \frac{\pi \cdot d}{4}$$

S – jmenovitá plocha jádra průvaru  
d – průměr jádra průvaru

Únosnost přivařených plechů při namáhání otláčením se nepočítá [1].

### 2.9.1 Výhody a nevýhody průvarového bodového svařování

**Výhody** [1].

1. Pro obsluhu postačuje pouze zaškolení i pracovníka s nižší kvalifikací.
2. Při svařování pozinkovaných plechů nejsou pracovník a okolí ohroženo výpary zinku, při

běžném větrání. Není nutné použití ochranné masky s přívodem vzduchu.

3. Pistoli STIME můžeme přitlačit na spojovaný materiál, tím dojde k odstranění mezer mezi plechy.
4. Nejsou nutné ochranné prostředky proti ozáření elektrickým obloukem.
5. Průvarové bodové svařování zajišťuje pevnější a méně nákladné spoje než spoje šroubované. Svařené plechy umožňují brát v úvahu zpevnění konstrukce i při výpočtu pevnosti.
6. Průvarové bodové svařování nerezových plechů.
7. Při průvarovém bodovém svařování lakovaných plechů se průvar opakuje dvakrát do stejného místa. Při prvním průvaru dojde k vyhoření laku s vývinem plynu, který může poškodit svar. Druhý průvar, po předchozím odstranění strusky, zajistí kvalitu spoje.
8. Je možné svařovat při vodorovné poloze elektrody.
9. Je zaručena opakovatelnost kvality spoje, při dodržení stejných svařovacích parametrů.

#### **Nevýhody [1].**

1. Průvarové bodové svařování není vhodné pro karoserie automobilů.
2. Nelze svařovat plechy s plastovým povrchem, pogumované apod.
3. Je možné použít jen vybrané svařovací zdroje.
4. Spodní plech tenčí než 1mm se bez spodní podložky při svařování propaluje.
5. Je nutné odpalování každé nové elektrody pro vytvoření zapalovacího kráteru.
6. Při klasickém spojování dvou plechů je výkonnější odporové bodové svařování.
7. Nelze svařovat nad hlavou.
8. Po každé změně tloušťky plechů, nebo při změně jiných svařovacích podmínek je nutné provádět zkušební vzorek a jeho utržení krutem, pro kontrolu velikosti a kvality kořene svaru.

### **3. Svařitelnost**

Svařitelnost lze charakterizovat jako vlastnost materiálu vytvořit svarový spoj vhodně zvoleným postupem. Svarovým spojem se rozumí spoj, který splňuje požadované vlastnosti. K těmto vlastnostem patří jakost spoje, mechanické vlastnosti, chemické složení, nepřítomnost vnitřních vad (trhliny, vměstky, póry), mikrostruktura [6].

**Svařitelnost rozlišujeme [6].**

- 1) svařitelnost metalurgická
- 2) svařitelnost technologická
- 3) svařitelnost konstrukční

### **3.1 Svařitelnost metalurgická**

Důležitým hlediskem, které ovlivňuje svařitelnost a vlastnosti svarového spoje je chemické složení základního a přídavného materiálu. Z hlediska svařitelnosti jsou dále důležité mechanické a fyzikální vlastnosti [6].

Další ovlivňující aspekty [2].

- mikrostruktura
- oxidační schopnost
- chování za vysokých teplot
- náchylnost na vznik trhlin
- absorpce plynů
- chování při rychlém ohřevu

### **3.2 Svařitelnost technologická**

Technologie svařování je jedním z hledisek, které zásadním způsobem ovlivňuje svařitelnost materiálu. Při svařování je důležitá valba svařovacích parametrů.

Svařitelnost ovlivňují [2].

- množství tepla vneseného do svarového spoje
- příprava a čistota svarových ploch
- předehřev svaru
- poloha svaru
- tepelné zpracování
- průměry přídavných materiálu
- způsob kladení svarových housenek

### 3.3 Svařitelnost konstrukční

Je ovlivněná různými faktory, které souvisí s konstrukčním řešením svařence.

Další aspekty, které ovlivňují svařitelnost konstrukce [2]:

- počet svarů
- umístění svarů na svařenci
- typy svarů
- tuhost svařence
- zbytková napětí
- deformace svařence

## 4. Vliv chemického složení na svařitelnost

Na svařitelnost oceli má velký vliv její chemické složení. U oceli je chemické složení definováno v materiálových listech se zaručeným obsahem jednotlivých prvků v hm.%.

### Uhlík

Uhlík (C) je obsažen ve všech ocelích a má velký vliv na svařitelnost. S rostoucím obsahem uhlíku jsou ovlivněny mechanické vlastnosti. Rostou hodnoty  $R_m$ ,  $R_e$  a HV oceli, ale snižují se plastické vlastnosti. Uhlík má také vliv na vznik tvrdé, ale křehké struktury. S rostoucím obsahem uhlíku se zvyšuje i tvrdost martenzitu, to je způsobeno rychlým ochlazením ze svařovací teploty [2].

### Uhlíkový ekvivalent

Ekvivalent uhlíku  $C_E$  vyjadřuje vliv chemického složení oceli na její svařitelnost. Čím je hodnota  $C_E$  materiálu větší, tím se hůře materiál svařuje.  $C_E$  vyjadřuje příspěvek legujících prvků ke kalitelnosti oceli.

Vzorec podle Mezinárodního svářečského institutu (IIW) pro oceli s  $C \leq 0,25\%$  [2].

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad [\%] \quad (3)$$

## Mangan

Zvyšuje mez kluzu a pevnosti. Společně s křemíkem (Si) se používá k výrobě uklidněných oceli, působí také jako desoxidační prvek. Mangan snižuje obsah síry (S), síra se váže na mangan ve formě MnS [2].

## Fosfor

Zvyšuje mez kluzu a pevnosti. Ve spojení s mědí (Cu) zlepšuje odolnost proti atmosférické korozi. Zároveň snižuje plasticitu oceli a způsobuje zkřehnutí za studena. Proto se obsah fosforu omezuje na max. 0,04 hm.%. [2].

Škodlivé účinky lze shrnout [2].

- zvyšuje sklon k segregaci tím, že prodlužuje dvoufázovou oblast v rozmezí teplot 1534 až 1050°C .
- způsobuje zkřehnutí tuhého roztoku  $\alpha$  .
- malá difúzní rychlost v  $\alpha$  a  $\gamma$  tuhém roztoku (ferit, austenit) nedovoluje vyrovnaní koncentrace fosforu.
- zkřehnutí feritu vede ke křehkým lomům, které lze prokázat prudkým snížením hodnot vrubové houževnatosti a za vyšších teplot.

Fosfor snižuje mez únavy a ve spojení se sírou zvyšuje riziko vzniku krystalizačních trhlin [6].

## Síra

Někdy se přidává úmyslně do nelegovaných ocelí pro zlepšení obrobiteľnosti. Železo a sulfid železnatý tvoří nízkotavitelné eutektikum. Vlivem oxidu železnatého se jeho bod tavení posouvá k nižším teplotám. Kritická je oblast tuhnutí od bodu tavení železa (1534°C ) až k bodu tavení Fe-FeS eutektika při 988°C . V rozsahu těchto teplot je  $\gamma$  tuhý roztok v rovnováze s tekutou fází. Při svařování proto dochází k natavení eutektika na hranicích zrn a

tím dojde k porušení materiálu. Tento jev se nazývá náchylnost ke vzniku teplých likvačních trhlin. Při vysokém obsahu síry se dolegovává mangan, protože síra má k manganu větší afinitu než k železu. Bod tavení sulfidu manganu je  $1610^{\circ}\text{C}$ . To znamená, že při tuhnutí ocelí jsou sulfidy manganu v pevném stavu a působí jako krystalizační zárodky. Tyto zárodky jsou rozděleny v zrnech oceli [2].

V současné době má být u nelegovaných ocelí max. obsah síry do 0,04 hm. %. Velký obsah síry je jednou z příčin vzniku lamelárních trhlin [2].

## Dusík

V železe je vždy určité množství dusíku v závislosti na použité technologii výroby. Dusík se do svarových spojů dostává z atmosféry. Max. rozpustnost dusíku je při  $1600^{\circ}\text{C}$  0,04 hm. %.

Dusík je stejně jako uhlík austenitotvorný prvek. Způsobuje rozšíření pole  $\gamma$  (austenit). Nitridy mají velký vliv na vlastnosti oceli, zvyšují mez kluzu, pevnosti a tvrdost. Zároveň snižují plastické vlastnosti (tažnost, vrubová houževnatost, mez únavy). Vylučování nitridů způsobuje stárnutí. Zvláště nebezpečné je vylučování nitridů v oblasti TOO, které může při nižších teplotách vést k porušení svařence [2].

Nežádoucí účinky nitridu lze odstranit přidáním Ti, Al, Zr. Tyto prvky mají větší afinitu k dusíku než má železo a tvoří stabilní nitridy [6].

## Vodík

V ocelích je vodík nežádoucí příměsí. Rozpouští se v nich při svařování při výrobě. Rozpustnost vodíku je největší v železe  $\gamma$ , v železe  $\alpha$  a  $\delta$  je menší. Vodík je buď rozpuštěn, nebo tvoří s kovy hybrydy.

Vady způsobené vodíkem:

- pórovitst svarového kovu
- oduhličení svarového kovu
- vznik rybích ok
- vznik trhlin ve svarovém kovu a TOO



Zdrojem vodíku ve svarovém kovu mohou být nedostatečně vysušené obaly elektrod, vlhkost na povrchu základního a přídavného materiálu, znečištěný povrch svařence, vlhkost v ochranných plynech, obsah vodíku v základním materiálu [2].

## **Nikl**

Nikl zlepšuje plastické vlastnosti oceli a svarových kovů zejména při nízkých teplotách. Dále zlepšuje jejich prokalitelnost. Zajišťuje ve vysokolegovaných Cr-Ni austenitických ocelích spolu s dalšími austenitotvornými prvky dosažení austenitické mikrostruktury [2].

## **Chrom, Molybden, Vanad**

Jsou karbidotvorné prvky, které výrazně precipitačně zpevňují oceli i svarové kovy. Molybden rozpuštěn v tuhém roztoku přispívá k substitučnímu zpevnění materiálu. Vanad vytváří s dusíkem karbonitrid nebo nitrid vanadu, které zlepšují pevnostní vlastností ocelí a svarových kovů za vysokých teplot. S vyšším obsahem chromu se zvyšuje odolnost proti korozi [2].

Dolegování Ni, Cr, V a Mo zajišťuje zvýšení žádaných teplot předehřevu pro zabránění vzniku studených trhlin ve svarových spojích [2].

## **5. Procesy při svařování**

V průběhu svařování dochází ke krátkodobému místnímu ohřevu materiálu na vysoké teploty. Dodaným teplem se nataví malý objem kovu. Vlivem tepelné vodivosti se zahřívá okolní oblast základního materiálu. Při svařování postupně dochází k tavení přídavného a základního materiálu, tepelnému ovlivnění svařovaného materiálu, vzniku svarové lázně, tuhnutí svarového kovu a ochlazování v celém průřezu svaru [2].

Vysoké teploty a jejich změny při svařování způsobují [2]:

- fázové přeměny (tavení základního a přídavného materiálu, jeho tuhnutí a změny v tuhém stavu).
- fyzikálně chemické reakce.
- změny struktury.
- změny objemu, které ve svarovém spoji způsobují vnitřní napětí a deformace.

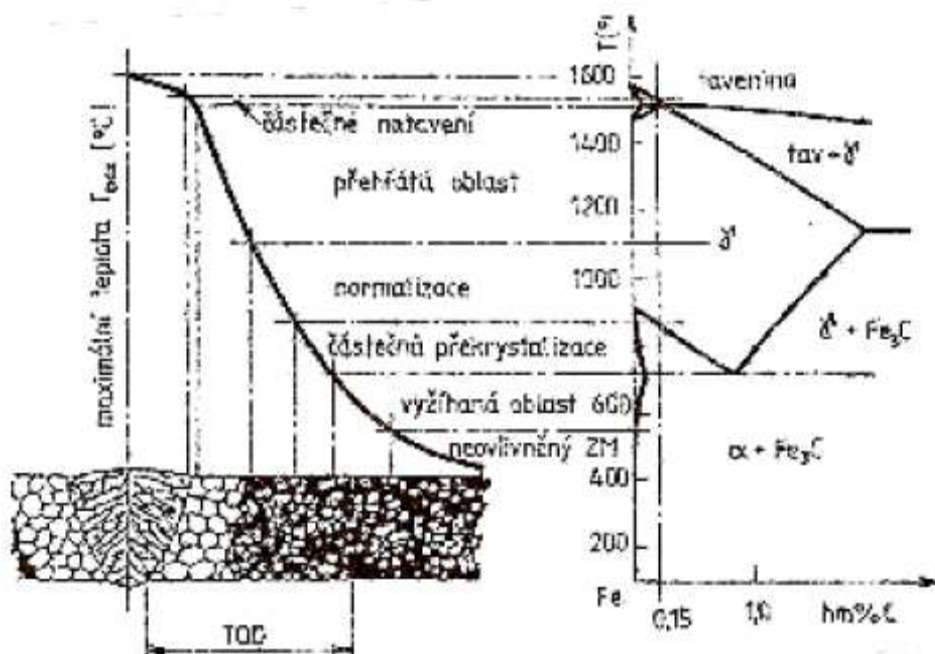
Rozsah těchto změn je ovlivněn základním materiálem, metodou svařování množstvím tepla vneseného do svarového spoje.

## 5.1 Tepelně ovlivněná oblast

Tepelně ovlivněnou oblast (TOO) nazýváme oblast svarového spoje, ve které dojde ke změnám mikrostruktury vlivem působení zdroje tepla při svařování. U oceli dochází v TOO k významným změnám struktury, které ovlivňují vlastnosti svarových spojů [2].

Při svařování legovaných ocelí s polymorfní přeměnou  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ , nebo nelegovaných ocelí můžeme TOO rozdělit na charakteristická pásma (obr. 5.1) [2].

1. **Oblast částečného natavení** – jedná se oblast přechodu TOO do svarového kovu. U oceli se tato oblast redukuje na hranici ztavení.
2. **Oblast přehřátí** – pásmo s teplotami nad  $A_{\text{cm}}$ , oblast se vyznačuje růstem zrn. V tomto pásmu může přehřátý kov absorbovat plyny (vodík, dusík). To může vést po ochlazení ke vzniku trhlin.
3. **Oblast normalizace** – pásmo vyhřáté nad teplotou  $A_{\text{c1}}$ , úplná transformace  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ .
4. **Oblast částečné překrystalizace** – v rozmezí teplot  $A_{\text{c1}}$  –  $A_{\text{cm}}$ , neúplná polymorfní přeměna.
5. **Oblast pod teplotou  $A_{\text{c1}}$**  – probíhají zde změny v rámci tuhého roztoku  $\alpha$  Fe.



Obr. 5.1 Teplotně ovlivněná oblast [2].

## 5.2 Transformační diagramy

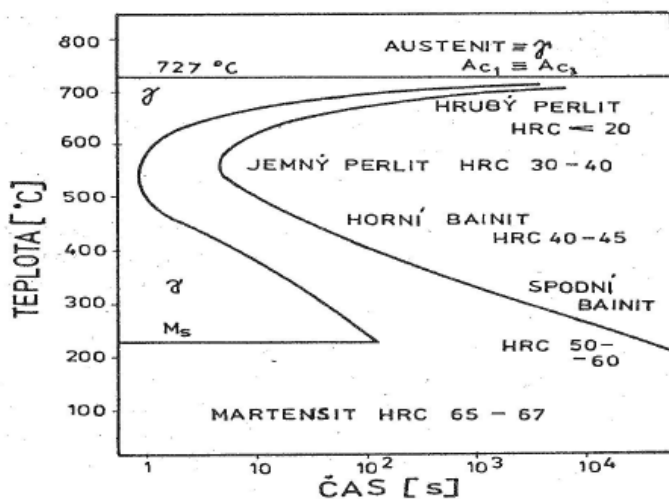
Transformační diagramy znázorňují průběh přeměny austenitu. Udávají vliv teploty a času na průběh přeměny. Jsou platné pro oceli určitého chemického složení a pro určité podmínky austenitizace. V diagramech jsou údaje o začátku a konci vylučování proeutektoidních fází [7].

### Diagram Izotermického rozpadu austenitu (IRA)

Izotermický rozpad austenitu je proces, při kterém dojde k rozpadu austenitu při konstantní teplotě, která je nižší než  $A_1$  [7].

Podle teploty rozpadu dělíme základní typy přeměn austenitu [8]:

- martenzitická přeměna – probíhá pod teplotami  $250^{\circ}\text{C}$
- baimitická přeměna – v rozmezí teplot  $250^{\circ}\text{C}$  -  $500^{\circ}\text{C}$
- politická přeměna – při nejvyšších teplotách  $500^{\circ}\text{C}$  -  $A_1$

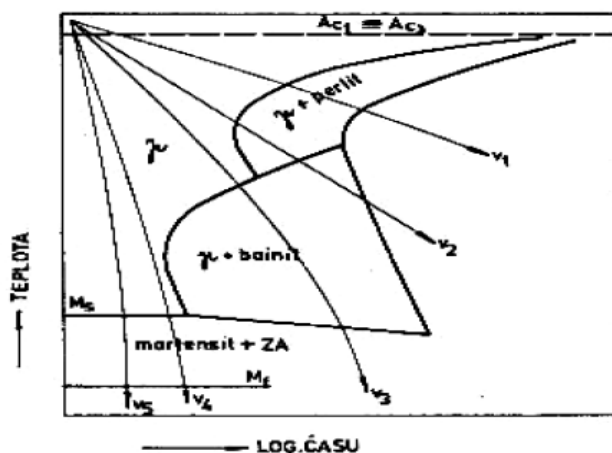


Obr. 5.2 Diagram IRA eutektoidní oceli [7].

### Diagram Anizotermického rozpadu austenitu

Diagram anizotermického rozpadu austenitu znázorňuje strukturní změny při různých rychlostech ochlazování austenitu. Při ochlazování uhlíkových oceli vzniká perlit křivka V1.

Při vyšších rychlostech ochlazování austenitu neproběhne úplná politická přeměna. Austenit se transformuje na bainit, martenzit a zbytkový austenit V2. Po rychlosti ochlazování V3 vznikne bainit, martenzit a zbytkový austenit. Po V4 a V5 vzniká martenzit a zbytkový austenit [7].



Obr. 5.3 Diagram ARA eutektoidní oceli [7].

## 6. Svařitelnost austenitické oceli (Cr-Ni)

Obsahují min. 16,5 hm.% Cr s dostatečným množstvím Ni a nebo Mn, C a N pro zajištění austenitické mikrostruktury. Obvykle se svařují po rozpouštěcím žhání. Pro zlepšení odolnosti proti korozi oxidaci se dolegují Mo, Ti, Nb, Cu, Si [3].

V porovnání s feritickými oceli mají větší tepelnou roztažnost a nižší tepelnou vodivost. To při svařování způsobuje vznik větších deformací a napětí [3].

Svařitelnost austenitických Cr-Ni korozivzdorných oceli ovlivňuje [4]:

- Náchylnost k tvorbě teplých trhlin
- Precipitace karbidů chrómu jejímž důsledkem je MKK
- Zkřehnutí vznikem  $\sigma'$ -fáze

### 6.1 Teplé krystalizační trhliny

Vznikají pouze ve svarovém kovu. Vznik teplých trhlin způsobují prvky S, P, Ti, Nb, Si, které snižují při tuhnutí plasticitu kovu. Obsah síry lze snížit vazbou na mangan (MnS). Vliv fosforu se omezuje využitím jeho velké rozpustnosti v  $\delta$ -feritu. Doporučený obsah křemíku

je pouze 0,3 hm.%. Obsah titanu a niobu omezujeme na množství nutné ke stabilizaci oceli [4].

Pro snížení náchylnosti austenitických ocelí k vzniku teplých trhlin je rozhodující obsah  $\delta$ -feritu ve struktuře. Při teplotě okolí se ve svarových kovech doporučuje obsah 2-6 hm. %  $\delta$ -feritu a v základním materiálu asi 3 hm. %  $\delta$ -feritu [4].

## 6.2 Mezikrystalová koroze

U korozivzdorných ocelí může koroze nastat v pásmu zcitlivění, které leží v rozmezí teplot 425 - 815<sup>°C</sup>. Základní příčinou vzniku mezikrystalové koroze je precipitace karbidů a nitridů chrómu [4].

Omezení vzniku precipitace karbidů chrómu závisí na [4]:

- chemické složení oceli
- doba setrvání v oblasti kritických teplot
- stabilizace oceli
- tepelné a mechanické zpracování

### Chemické složení

Vliv uhlíku, který způsobuje zcitlivění astenické oceli a MKK lze omezit snížením obsahu uhlíku pod 0,02 hm. %. Při tomto obsahu nemůže mezikrystalová koroze nastat. Pro austenitickou ocel s obsahem Cr 18 hm. % a niklu cca 10 hm. % se doporučuje obsah uhlíku nižší než 0,015 hm. % [4].

### Vliv doby žhání na zcitlivění

Rychlost mezikrystalové koroze je ovlivněna dobou ohřevu a teplotou. Nejrychlejší zcitlivění způsobuje žhání na teplotě okolo 650<sup>°C</sup>.

### Vliv stabilizačních prvků

Protože snížení obsahu uhlíku pod 0,02 hm. % je obtížné, přidávají se do austenitických ocelí prvky s větší afinitou k uhlíku než chrom. Jsou to prvky titan, niob, tantal, které tvoří karbidy. Zabrání se tím ochuzení hranic zrn o chrom [4].

Ke stabilizaci oceli (korozi-vzdorných) musí být dodržen poměr [4].

$$\frac{Nb}{C} \geq 8 \qquad \frac{Ti}{C} \geq 4 \qquad \frac{Ta + Nb}{C} \geq 8 \qquad \frac{Ta}{C} \geq 16$$

### Vliv tepelného zpracování

Austenitická ocel ohřátá nad 750°C může rozpouštět karbid chromu a rychlým ochlazením lze ocel udržet v austenitickém stavu. Je-li to možné, lze použít rozpouštěcí žíhání nad 950, které urychlí rozpouštění karbidu a rychlé ochlazení zabrání precipitaci. Svarový spoj se tak stává necitlivý k mezikrystalové korozi [4].

### Vliv mechanického zpracování

Žíháním austenitické oceli na teplotě 650 - 700°C po dobu 1000 h. dojde k regeneraci struktury vlivem difúze chromu a uhlíku. Předchozím tvářením za studena tuto regeneraci urychlíme [4].

## 6.3 Vznik fáze $\sigma$

Fáze  $\sigma$  je tvrdá, křehká intermetalická sloučenina, která způsobuje zkřehnutí austenitických ocelí. Vzniká v oblasti teplot 500 - 820°C. Při teplotě 825°C se přemění na fázi  $\alpha$  [4].

Činitelé podporující vznik fáze  $\sigma$  [4]:

- heterogenita taveb, lokální obohacení fáze  $\alpha$  chromem.
- feritotvorné prvky (Al, Ti, Si), ovlivňují vznik fáze  $\alpha$  a usnadní přeměnu ve fázi  $\sigma$ .
- únava za tepla.
- místní přesycení chromem při rychlém ochlazení.

- stupeň jemnosti struktury.
- intenzivní tváření za studena.

Austenitické oceli se svařují přídavnými materiály se stejným, nebo podobným chemickým složením. Svařujeme je bez předehřevu, protože je nelze zakalit a nejsou náchylné na vznik studených trhlin. Předehřev by mohl negativně ovlivnit korozní odolnost svarového spoje [4].

Vlivem náchylnosti k tvorbě teplých trhlin omezujeme tepelný příkon do svaru na max. hodnotu  $15 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-1}$  a teplotu interpass na max.  $150^\circ\text{C}$ . Menší tepelný příkon omezuje nebezpečí růstu zrn v pásmu přehřátí TOO [4].

U austenitických (korozi-vzdorných) oceli se svarové spoje obvykle tepelně nezpracovávají. Při svařování tuhých a tvarově složitých svarků můžeme použít žíhání pro snížení vnitřních pnutí na teploty  $400 - 500^\circ\text{C}$  nebo  $850 - 950^\circ\text{C}$ . Odolnost proti korozi můžeme zlepšit rozpouštěcím žíháním  $1000 - 1050^\circ\text{C}$  [4].

## 7. Výroba zkušebních svarových spojů

Zkoušené svarové spoje byly vyrobeny ve firmě BONATRANS GROUP a.s. na pracovišti svařovny v Bohumíně. Svařovaly se tlumicí kroužky železničních kol. Tlumicí kroužky jsou vyrobeny z austenitické korozi-vzdorné oceli X5CrNi18-10 (dle ČSN EN 10027-1).

Tyto kroužky tlumí vibrace a rezonance vznikající při provozu železničních kol.

K porovnání jsou zhotoveny vzorky svařené původní technologií – 135 a vzorky svařené technologií průvarového bodového svařování – 111.



**Obr. 7.1** Železniční kolo s tlumícím kroužkem



**Obr. 7.2** Tlumicí kroužek připravený ke svařování uložený na skelné tkanině

Základní charakteristiky austenitické korozivzdorné oceli X5CrNi18-10 (dle ČSN – 17 240)

**Tabulka 1:** Mechanické vlastnosti.

Tvrđost	Pevnost v tahu	Mez kluzu		Tažnost	Vrubová houževnatost	
HB	Rm	Rp0,2	Rp0,1	A 50	(ISO-V) KV J/min	
max.	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	L	Q
215	540-750	230	260	45	100	60

**Tabulka 2:** Chemické složení (hm%),

	C	Cr	Mn	Ni	P	S	Si
min	–	17,000	-	9,000	-	-	-
max.	0,070	20,000	2,000	11,500	0,045	0,030	1,000

### 7.1 Svaření vzorků původní metodou – 135 (MAG)

Svaření vzorků původní metodou:



**Obr.7.1.1**



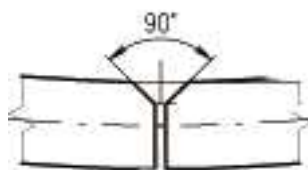
**Obr.7.1.2**



**Obr.7.1.3**

Skelná tkanina je zde použita jako ochrana proti přímému působení plamenů a horkého vzduchu.









ECONET 500 AL – nehořlavé skelné plátno s hliníkovou fólií, teplota ochrany max. 500°C.



**Obr. 7.1.4** Tvar spoje Y – v praxi ověřený tvar.



**Tabulka 3:** Vzorky svařené původní technologií (135), Ø 10 mm.

Vzorky svarů drátu Ø 10 mm		poznámka
		Svar tvaru Y, při mezeře 1 mm.
		Svar tvaru Y, při mezeře 1 mm.
		Svar tvaru Y, při mezeře 1 mm.
		Svar tvaru Y, při mezeře 1 mm.

## 7.2 Svaření vzorků metodou průvarového bodového svařování – 111

### 7.2.1 Seřízení svařovacího zdroje Arist<sup>TM</sup> Mig C3000i, U6

Proces MIG-MAG

horký start	- zapnut
doba horkého startu	- 0 až 1,5s (postupně měnit a zkoušet)
start podávání	- vypnut
synergie	- vypnut
indukce	- 10 (ověřovat)
napětí	- 35 V (ověřovat)



**Obr. 7.2.1** Arist<sup>TM</sup> Mig C3000i, U6

### 7.2.2 Výběr elektrod

Elektrody OK 68.81 Ø 2,5 a Ø 3,2 mm byly posuzovány z hlediska zaplnění požadovaného spoje: OK 68.81 je rutilová elektroda vhodná ke svařování průvarovou bodovou technologií.

Pro tlumící kroužky Ø 10 mm, 45° - elektroda Ø 2,5 mm nevyhověla a byla ze zkoušek vyřazena, elektroda Ø 3,2 vyhověla.

Pro tlumící kroužky Ø 10 mm, 30° - elektroda Ø 2,5 mm nevyhověla a byla vyřazena ze

zkoušek, elektroda  $\phi$  3,2 vyhověla, ale nevyhověl úkos spoje (délka spoje překračovala šířku zaplnění svarem)

**Tabulka 4:** Chemické složení v %.

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,12	0,7	0,8	29,0	9,5

**Tabulka 5:** Mechanické hodnoty.

$R_{p0,2}$ MPa	$R_m$ MPa	A5 %	KV (J)/°C +20
610	790	22	30

### 7.2.3 Ověřování vhodných parametrů pro elektrodu

- napětí svařovacího proudu vyhovělo v rozsahu 32-34 V.
- pro hloubku provaření a následné zaplnění svaru vyhověla doba horkého startu 0,8s.
- zkouška ukázala předpoklad vhodnosti nízké indukance.

### 7.2.4 Průběh zhotovení svarových spojů

Svařování prováděl ing. Miroslav Štíhel, autor průvarové bodovací pistole STIME.

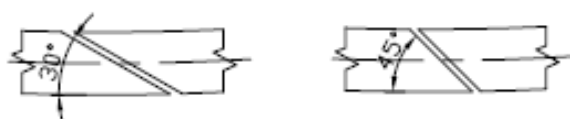
Svařování bylo provedeno průvarovou bodovací pistolí STIME s upravenou hubicí.



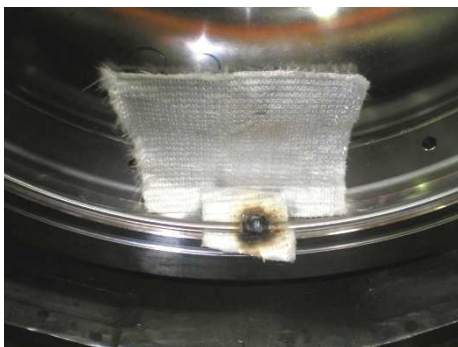
**Obr. 7.2.4.1** ing. M. Štíhel při svařování.



**Obr. 7.2.4.2** Železniční kolo.



**Obr. 7.2.4.3** Tvary spojů navržené pro svařování drátů průvarovou bodovou tech. – 111.



**Obr. 7.2.4.4** Provedený svar.



**Obr. 7.2.4.5** Uložení drátu na skelné tkanině.

Pro následné svařování nebylo zapotřebí používat zadní kryt tkaniny. Ohřev okolí svaru se vizuálně vůbec neprojevil a po rychlém odstranění svařeného vzorku, bylo kolo v místě svařování studené.

Nejprve jsou svařovány vzorky drátu  $\varnothing$  10 mm, s úkosy  $45^\circ$  a  $30^\circ$ .



**Obr. 7.2.4.6** Vzorek s elektrodou  $\varnothing$  2,5 mm, nedostatek svarového kovu.



**Obr. 7.2.4.7** Další vzorek s elektrodou  $\varnothing$  2,5, nedostatek svarového kovu.

Elektroda  $\varnothing$  2,5 mm nevyhověla a byla vyřazena ze zkoušek. Další svarové spoje jsou zkoušeny elektrodami  $\varnothing$  3,2 mm.

Na dalších vzorcích byly zkoušeny úhly spoje  $45^\circ$  a  $30^\circ$ .



**Obr. 7.2.4.8** Vzorek s úkosem  $30^\circ$  nevyhověl.



**Obr. 7.2.4.9** Vzorek s úkosem  $45^\circ$ , lom je vizuálně plně vyhovující.

Spoj s úkosem  $30^\circ$  nevyhověl – délka spoje překračuje šířku zaplnění swarem. Na vzorcích s tímto úkosem se dále nezkoušelo. Pro porovnání byl zhotoven jeden vzorek č.8.

Vzorek s úkosem  $45^\circ$  vyhověl, další svarové spoje jsou svařovány na vzorcích s úhlem  $45^\circ$ .

Následující zkouška byla prováděna na vzorcích drátu  $\varnothing 14$  mm, s úkosem ve tvaru Y.



**Obr. 7.2.5.** Vzorek drátu  $\varnothing 14$  mm na skelné tkanině.







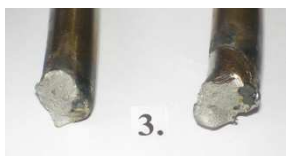
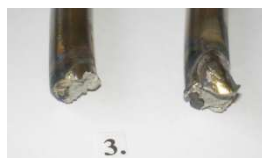






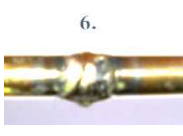





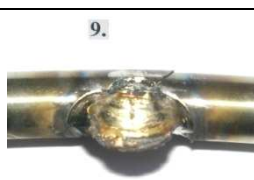


**Obr. 7.2.5.1** Spoj zhotovený opakovaným swarem.

V průběhu svařování drátu  $\varnothing 14$  mm se projevil nedostatek svarového kovu, který byl doplněn opakovaným swarem.











Výhodou technologie průvarového bodového svařování je možnost opravit špatně provedený bodový průvar novým průvarem do téhož místa.

**Tabulka 6:** Svařené vzorky  $\varnothing 10$  mm.

Vzorky svarů drátů $\varnothing 10$ mm			poznámka
			Posun elektrody $\varnothing 2,5$ mm o 15 mm a horký start 0,5 s je nedostačující.
			Posun elektrody $\varnothing 2,5$ mm o 15 mm a horký start 0,8 s je stále nedostačující.
			Elektroda $\varnothing 3,2$ , posun 10 mm a horký start 0,8 s je optimální a při lomu ohybem je plocha svaru postačující.
			Při použití drátu s úkosem $30^\circ$ je provaření jen v části spoje. Úkos spoje drátu $30^\circ$ nevyhovuje.
			Boční výtok svarového kovu při špatném nasazení elektrody na spoj s nulovou mezerou
			Svar při maximální mezeře 2 mm v úkosu $45^\circ$ .
			Svar při mezeře 1 mm v úkosu $45^\circ$ .
			Svar při mezeře 1 mm v úkosu $30^\circ$ .
			Svar opravený druhým průvarem.



**Tabulka 7:** Svařené vzorky  $\varnothing 14$  mm.

Vzorky svarů drátů $\varnothing 14$ mm			poznámka
			Posun elektrody o 15 mm měl málo svarového kovu
			a byl doplněn opakovaným průvarem s posunem 10 mm. Svarového kovu bylo však nadbytek a přetekl na kolo.
			Posun elektrody 20 mm měl ještě málo svarového kovu.
			Při tupém svaru a posunu elektrody o 20 mm dochází k přetečení.

V tabulce 8 je zobrazeno průběžné nastavování svařovacích parametrů při svařování zkušebních svarů metodou 111.

**Tabulka 8:** Svařené vzorky s příslušnými parametry.

Vzorek ocel 17 240 č./ $\varnothing$ /spoj	Elektroda OK 68.81 $\varnothing$ v mm	Svařov. napětí [V]	Horký start [s]	indukance	Vizuální hodnocení
1./10/45°	2,5	35	0,5	70	Nevyhovuje
2./10/45°	2,5	33	0,8	70	Nevyhovuje
3./10/45°	3,2	32	0,8	70	Vyhovuje velikost průřezu
4./10/60°	3,2	32	0,8	70	Nevyhovuje úkos 60°
5./10/45°	3,2	32	0,8	50	Vyhovuje, je určen na trhací zk.
6./10/45°	3,2	32	0,8	50	Vyhovuje, je určen na trhací zk.
7./10/45°	3,2	32	0,8	10	Vyhovuje, je určen na trhací zk.
8./10/60°	3,2	32	0,8	10	Nevyhovuje úkos 60°
9./10/45°	3,2	32	0,8	10	Vyhovuje
10./10/Y	3,2	32	0,8	10	Vyhovuje
11./14/Y	3,2	32	0,8	10	Vyhovuje
12./14/tupý	3,2	32	0,8	10	Vyhovuje, je určen na trhací zk.

## 8. Hodnocení vzorků

Na vybraných vzorcích byla hodnocena síla nutná k přetržení svařených vzorků.

Pro trhací zkoušky byly vybrány 4 vzorky svařené metodou průvarového bodového svařování a zkušební tyč bez svaru. Ze vzorků svařených původní technologií (135) byly vybrány 3 vzorky.

**Tabulka 9:** Vzorky pro trhací zkoušku svařených průvarovou bodovou technologií

Výrobek	Označení spoje	Rozměry (mm)	Základní materiál:	Svařovací materiál:	Metoda svařování	Poloha svařování:
Zkušební tyč bez svaru	0	Ø10	17 240	0	-	-
Zkušební svarový spoj	5/10 / 45°	Ø10	17 240	OK 68.81Ø3,2	111	průvar
Zkušební svarový spoj	6/10 / 45°	Ø10	17 240	OK 68.81Ø3,2	111	průvar
Zkušební svarový spoj	7/10 / 45°	Ø10	17 240	OK 68.81Ø3,2	111	průvar
Zkušební svarový spoj	12/14 / I	Ø14	17 240	OK 68.81Ø3,2	111	průvar






**Tabulka 10:** Vzorky pro trhací zkoušku svařených technologií 135-MAG.

Výrobek	Označení spoje	Rozměry (mm)	Základní materiál:	Metoda svařování	Poloha svařování:
Zkušební svarový spoj	1a/Y	Ø10	17 240	135	PA
Zkušební svarový spoj	2a/Y	Ø10	17 240	135	PA
Zkušební svarový spoj	3a/Y	Ø10	17 240	135	PA

### 8.1 Průběh trhacích zkoušek




Přetržené vzorky v tabulce 11 jsou svařené průvarovou bodovou technologií 111, první vzorek je zkušební tyč bez svaru.

**Tabulka 11:** Přetržené vzorky bez svaru a svažené metodou 111.

Výrobek	Označení spoje	Rozměry (mm)	Vzorky	Místo přetržení	Síla na přetržení [kN]
Zkušební tyč bez svaru	0	Ø10		-	59,4
Zkušební svarový spoj	5/10 / 45°	Ø10		ve svaru	29,8
Zkušební svarový spoj	6/10 / 45°	Ø10		ve svaru	37,6
Zkušební svarový spoj	7/10 / 45°	Ø10		ve svaru	36,2
Zkušební svarový spoj	12/14 / I	Ø14		ve svaru	72,1

V tabulce 12 jsou přetržené vzorky svařované technologií 135 - tavící se elektrodou v ochranném plynu, metoda MAG.

**Tabulka 12:** Přetržené vzorky svařované technologií 135 (MAG).

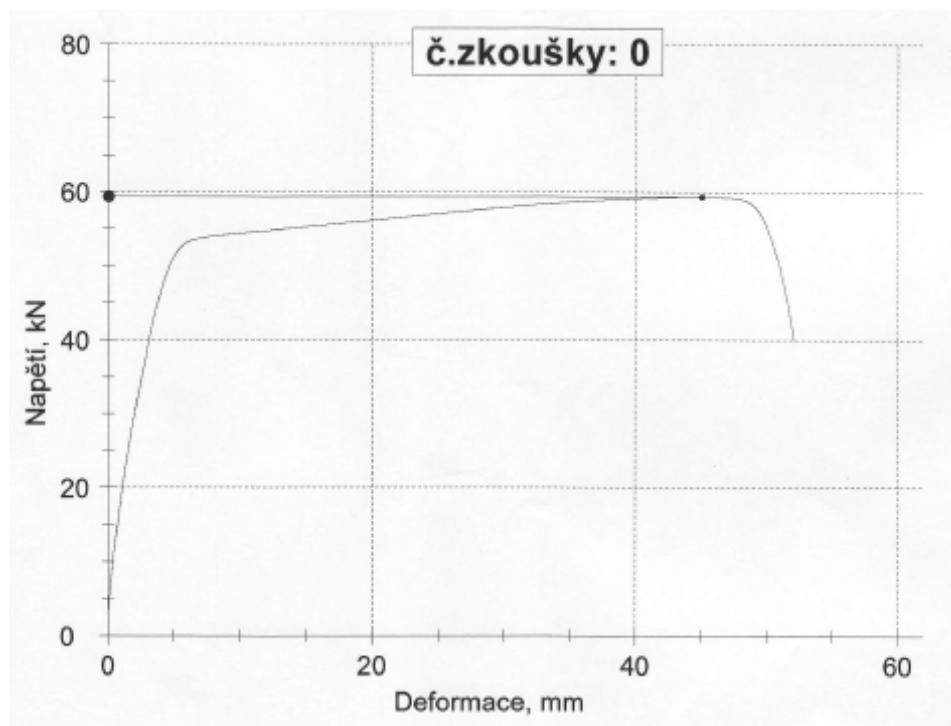
Výrobek	Označení spoje	Rozměry (mm)	Vzorky	Místo přetržení	Síla na přetržení [kN]
Zkušební svarový spoj	1a/Y	Ø10		ve svaru	23
Zkušební svarový spoj	2a/Y	Ø10		ve svaru	23,1
Zkušební svarový spoj	3a/Y	Ø10		ve svaru	22,6



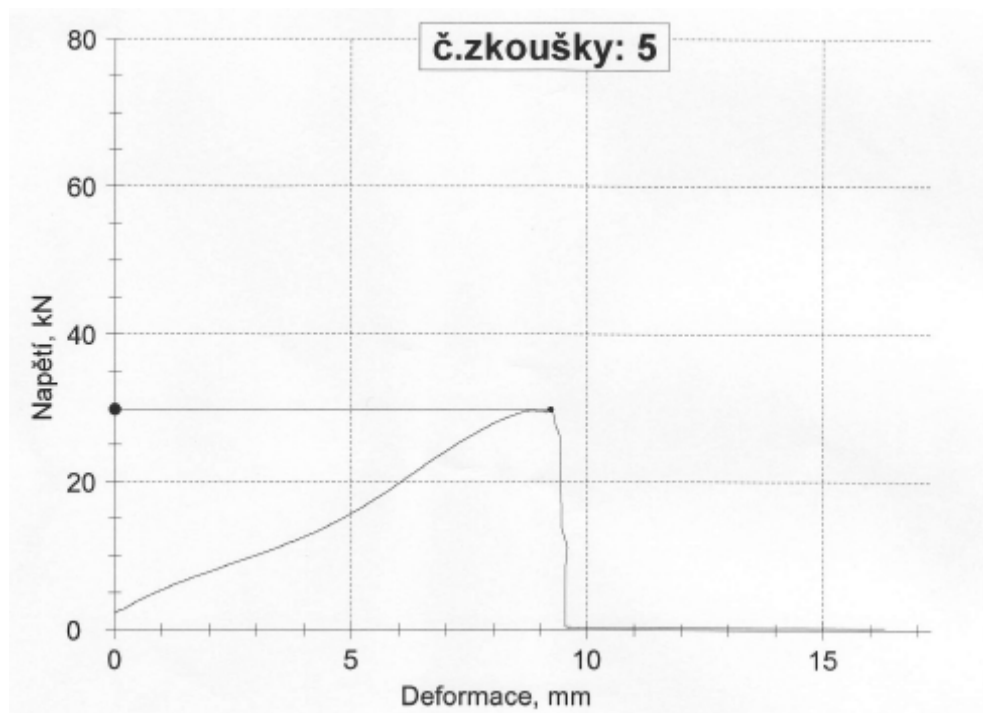
## 8.2 Grafy deformací a napětí

V grafech jsou znázorněny závislosti deformací (mm) na napětí (kN).

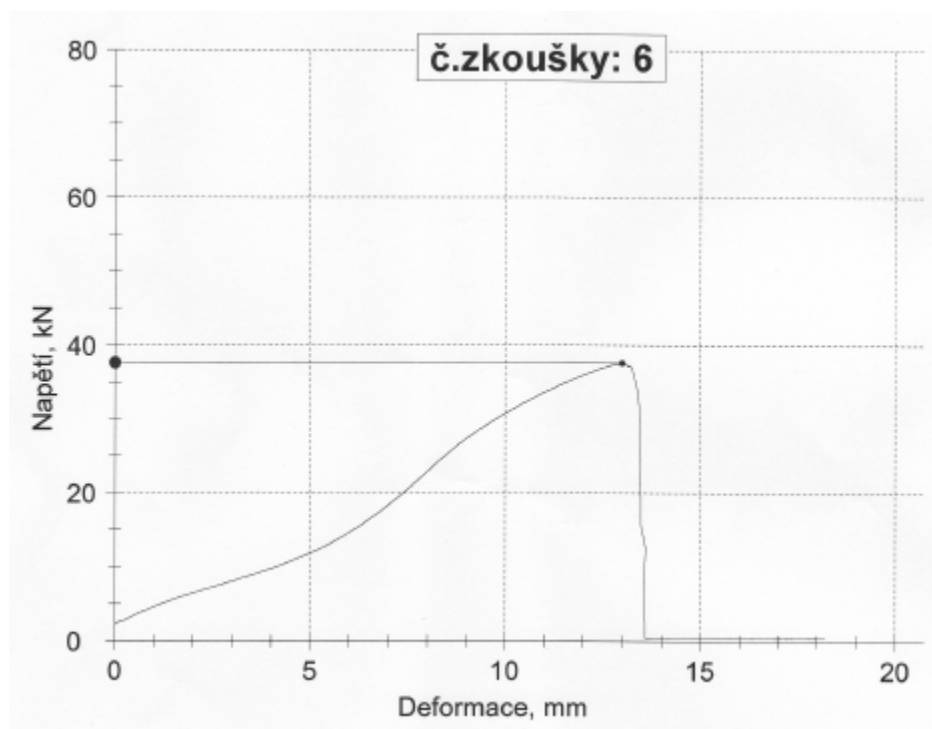
Grafy vzorků svařované průvarovou bodovou technologií:



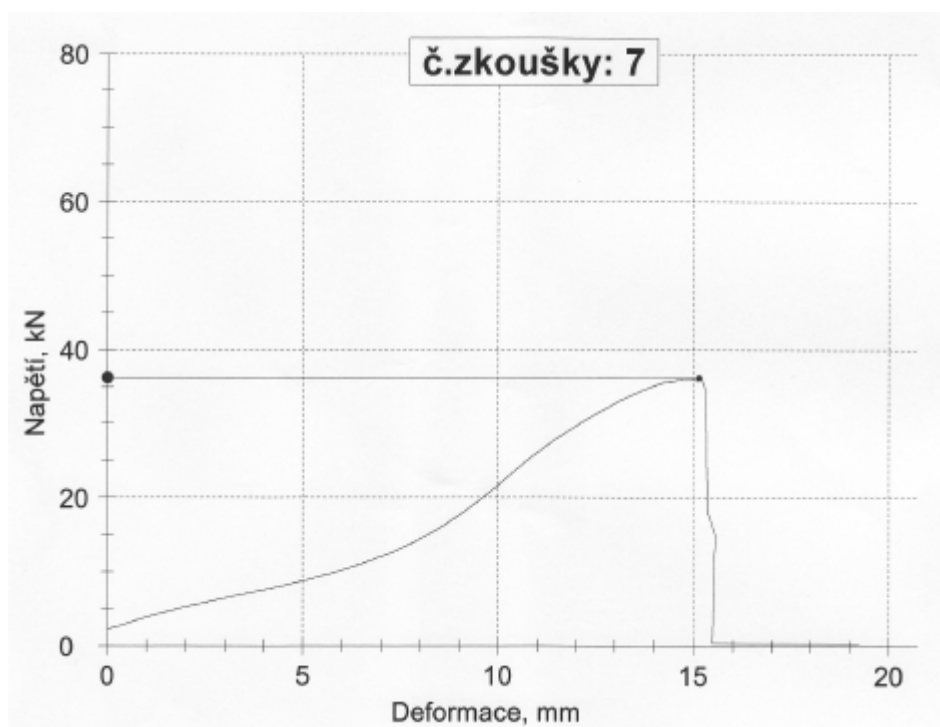
**Graf 8.2.1** Vzorek č. 0 (bez svaru).



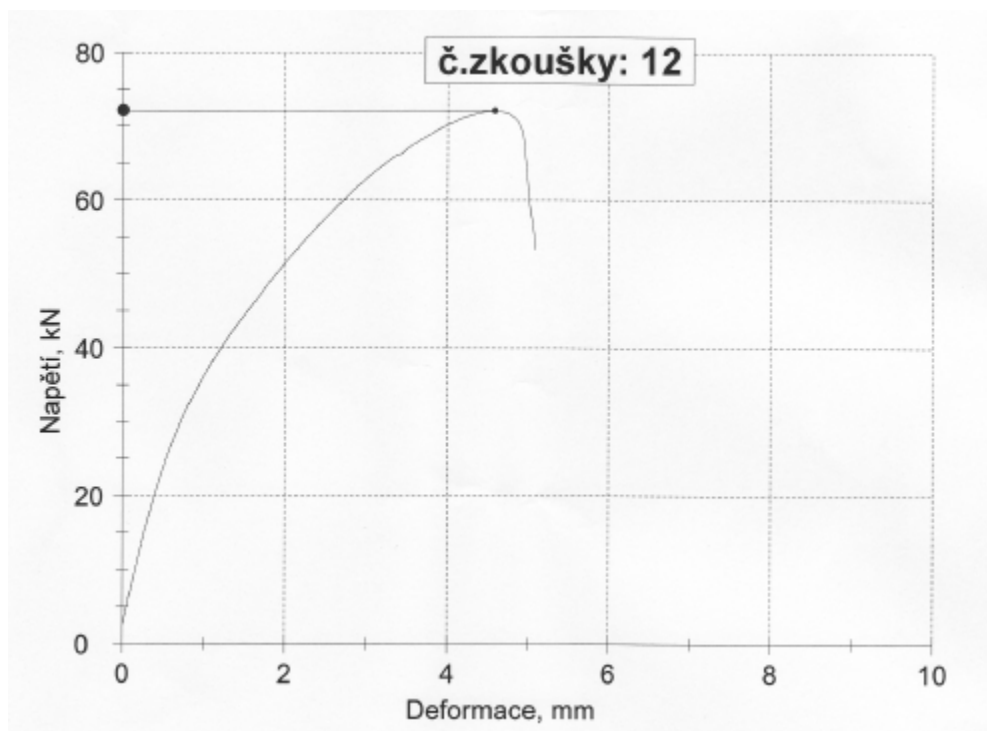
**Graf 8.2.2** Vzorek č. 5 (drát 10 mm).



**Graf 8.2.3** Vzorek č. 6 (drát  $\varnothing$  10 mm).

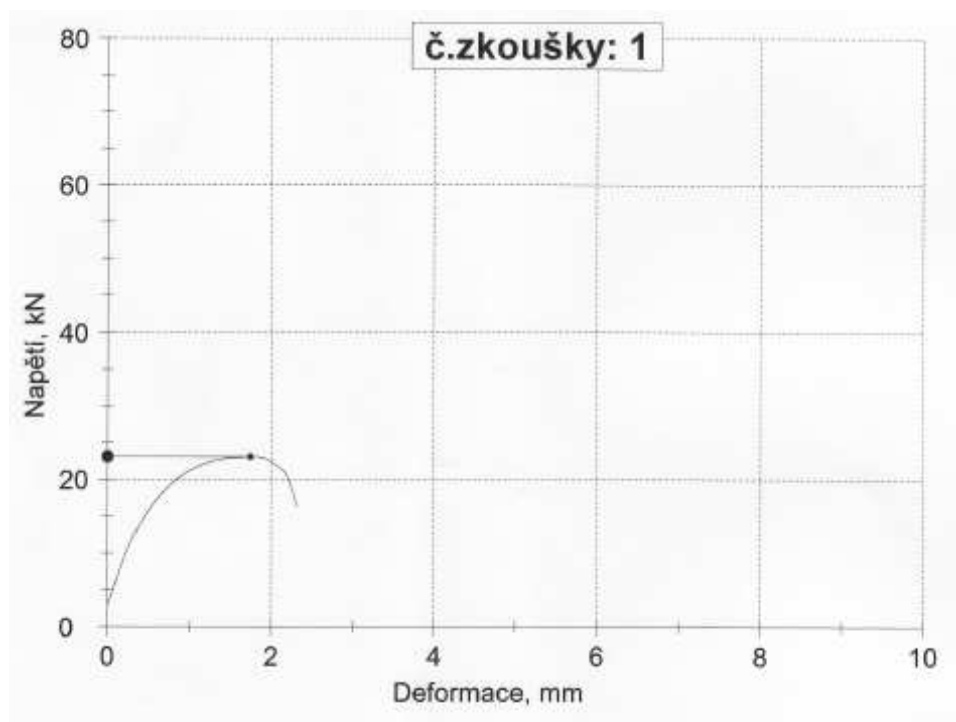


**Graf 8.2.4** Vzorek č. 7 (drát  $\varnothing$  10 mm).

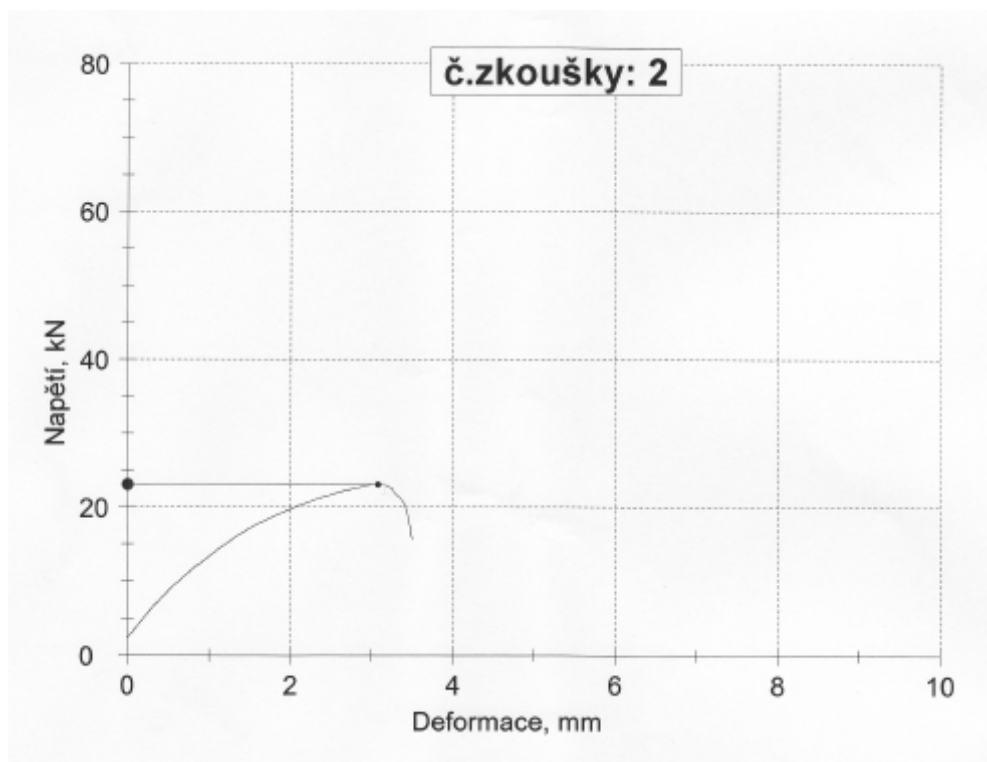


**Graf 8.2.5** Vzorek č. 12 (drát  $\varnothing$  14 mm).

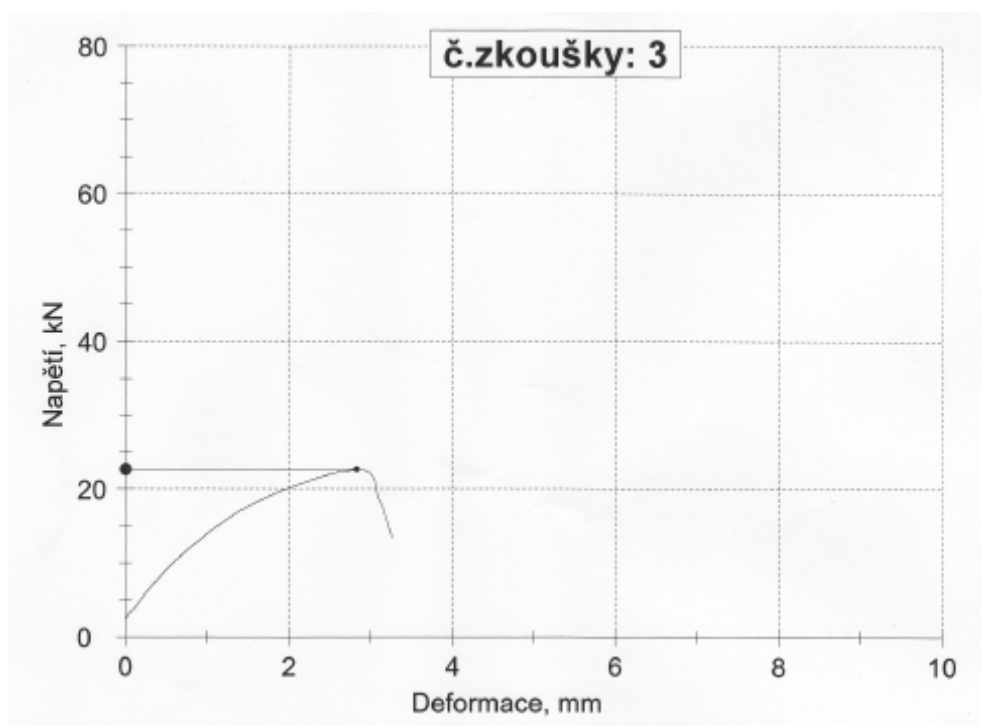
Grafy vzorků svařované technologií 135, metoda MAG:



**Graf 8.2.6** Vzorek č. 1 (drát  $\varnothing$  10 mm).



**Graf 8.2.7** Vzorek č. 2 (drát  $\varnothing$  10 mm).



**Graf 8.2.8** Vzorek č. 3 (drát  $\varnothing$  10 mm).

### 8.3 Zhodnocení dosažených výsledků

Vzorky svařované průvarovou bodovou technologií – 111.

U vzorku č. 0 (zkušební tyč bez svaru) je síla nutná na přetržení – 59,4 [kN].

Síla na přetržení vzorku č. 5 – 29,8 [kN], přetrženo ve svaru.

Síla na přetržení vzorku č. 6 – 37,6 [kN], přetrženo ve svaru.

Síla na přetržení vzorku č. 7 – 36,2 [kN], přetrženo ve svaru.

Síla na přetržení vzorku č. 12 – 72,1 [kN], přetrženo ve svaru.

Vzorky svařované technologií 135 (MAG).

Síla na přetržení vzorku č. 1a – 23 [kN], přetrženo ve svaru.

Síla na přetržení vzorku č. 2a – 23,1 [kN], přetrženo ve svaru.

Síla na přetržení vzorku č. 3a – 22,6 [kN], přetrženo ve svaru.

Největší síly na přetržení je dosaženo u vzorku č. 12 (drát  $\varnothing 14$ ). Velká síla na přetržení je také nutná u vzorku č. 0 (zkušební tyč bez svaru).

U vzorků svařovaných průvarovou bodovou technologií (111) je dosaženo výrazně lepších výsledků než u vzorků svařovaných technologií 135. Na přetržení vzorků svařených průvarem je potřeba až o 50% více síly.

## 9. Závěr

Bakalářská práce se zabývala svařitelností austenitické oceli (Cr-Ni) průvarovou bodovou technologií.

První kapitola je zaměřena na princip metody průvarového bodového svařování. V teoretické části je popsána svařitelnost a vliv jednotlivých prvků na svařitelnost a tepelné ovlivnění materiálu v průběhu svařování. V další kapitole je posouzení svařitelnosti austenitické oceli (Cr-Ni).

Praktická část je zaměřena na svařování zkušebních vzorků tlumících kroužku průměru 10 a 14 mm vyrobené z austenitické korozivzdorné oceli X5CrNi18-10 (17 240) a vyhodnocení síly potřebné na přetržení vzorků.

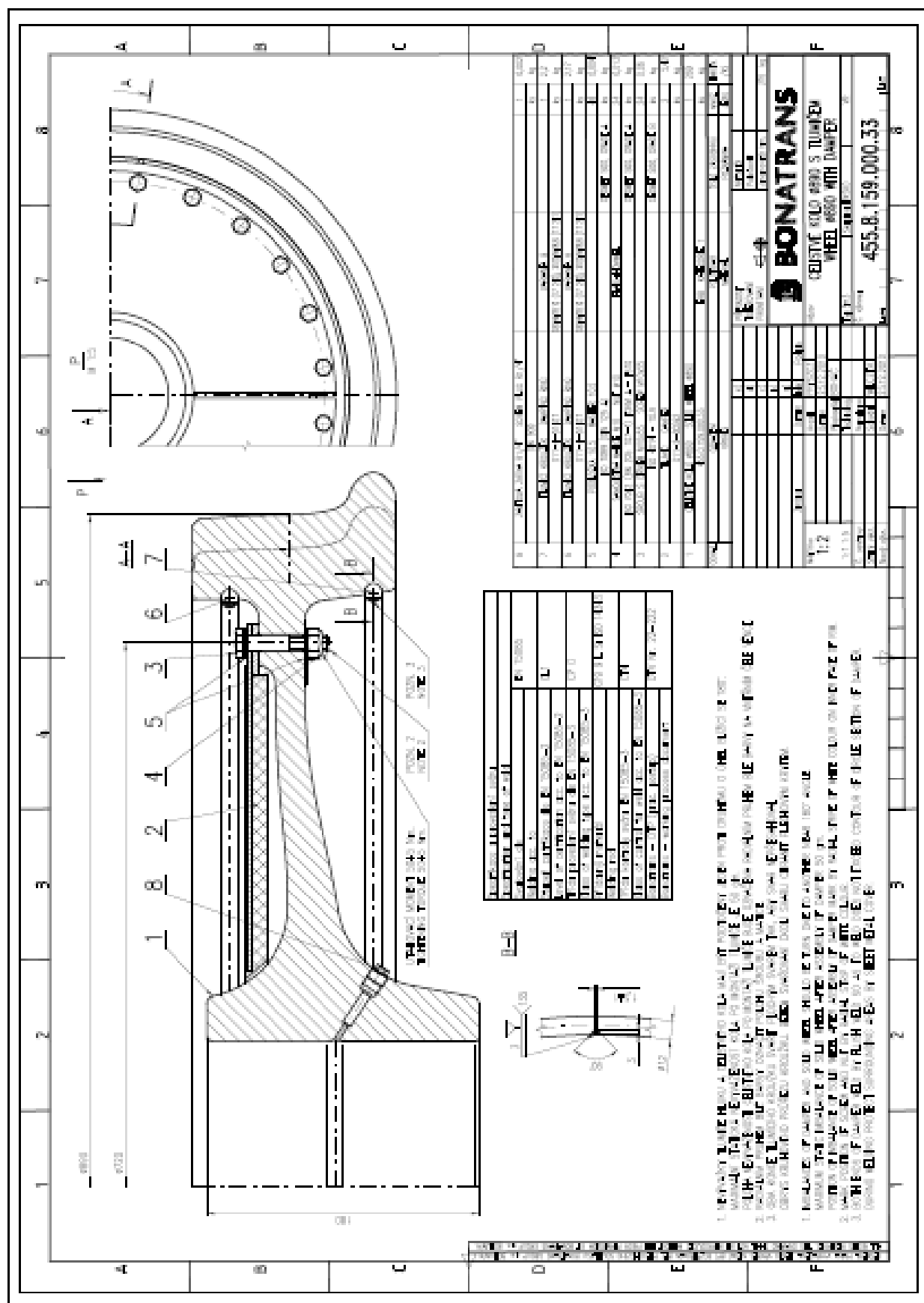
Cílem práce je posouzení možnosti svařování drátu průvarovou bodovou technologií. Zkoušením je vybrán optimální tvar spoje - úkos 45°.

Byly dosaženy příznivé výsledky, na přetržení je potřeba mnohem větší síly než u původní technologie. Na základě těchto dosažených výsledků je rozhodnuto o pokračování v dalších zkouškách (pevnost, makrostruktura, mikrostruktura, ekonomický rozbor).

## Seznam použité literatury:

- [1] ŠTÍHEL, M.: *Kurs Průvarového bodového svařování elektrickým obloukem s obalenou elektrodou (D-E9)*. Frýdek-Místek: Richtrová tiskárna, Frýdek, 1992. 30s.
- [2] KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T.: *Svařování I*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2005, 136 s. ISBN 80-248-0870-6
- [3] KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J.: *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o., VŠB – TU Ostrava, 2009, 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5
- [4] Kolektiv autorů: *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Zeross, 2001, 292 s. ISBN 80-85771-85-3
- [5] ESAB: *Katalog přídatných materiálů pro svařování*, 3. přepracované a doplněné vydání, Esab Vamberk s.r.o., 2007, 415 s.
- [6] KUČERA, J.: *Teorie svařování*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1987, 408 s.
- [7] SILBERNAGEL, A.: *Nauka o materiálu I*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1996, 152 s. ISBN 80-7078-116-5
- [8] SKOČOVSKÝ, P.: *Náuka o materiálu pre odbory strojnícke*. Žilina: Žilinská univerzita, 2001, 381 s. ISBN 80-7100-831-1
- [9] ČSN EN ISO 15614-1, *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Část 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukového svařování niklu a slitin niklu*.

# Příloha č. 1 Výkres železničního kola





**Příloha č. 2**  
Výkres tlumicího kroužku

